

25. 06. 2004



REC'D 08 JUL 2004
WIPO PCT

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 33 921.3

**Anmeldetag:** 25. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** Wella AG,  
64274 Darmstadt/DE

**Bezeichnung:** Extraktionsverfahren unter Verwendung eines  
statischen Mikromischers

**IPC:** B 01 F 5/06

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 18. Juni 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
 Im Auftrag

Hintermeier

**BEST AVAILABLE COPY**

**Beschreibung****Extraktionsverfahren unter Verwendung eines statischen  
Mikromischers**

5

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Extraktion einer oder mehrerer Substanzen aus einem fluiden Ausgangsmaterial mit einem geeigneten Extraktionsmittel unter Verwendung eines statischen Mikromischers zur Vermischung des Ausgangsmaterials mit dem Extraktionsmittel.

10

Bei der Extraktion wird ein Lösemittel (Extraktionsmittel) zur Abtrennung einer oder mehrerer Komponenten aus einem Stoffgemisch benutzt. Fluide Stoffgemische können flüssig oder gasförmig sein. Unter Extraktion wird im allgemeinen die Anreicherung oder Gewinnung von Stoffen aus Flüssigkeitsgemischen mit Hilfe von selektiv wirkenden nichtmischbaren Lösemitteln verstanden. Es können aber auch Stoffe aus gasförmigen Gemischen mittels geeigneter Lösemittel extrahiert werden.

20

Extraktionsverfahren spielen insbesondere dann eine Rolle, wenn thermische Verfahren wie die Destillation ungeeignet sind. Extraktionsverfahren können z.B. angewendet werden bei der Trennung von Systemen mit ähnlichen Siedepunkten, z.B. der Aromatenextraktion aus Kohlenwasserstoffen, z.B. Erdölfraktionen; Abtrennung von hochsiedenden Stoffen aus wässrigen Systemen (z.B. Phenole); Abtrennung von temperaturempfindlichen Stoffen, z.B. biologische oder biotechnologisch gewonnene Stoffe (z.B. Antibiotika aus Fermentationslösungen); Trennung azeotroper Mischungen; Extraktion von

organischen Stoffen aus Salzlösungen; Extraktion von Salzen aus Polymerlösungen; Extraktion von Metallsalzen aus Erzen zur Metallgewinnung oder aus Abwasser zur Abwasserreinigung, z.B. Extraktion von Kupfer, Nickel und Kobalt aus wässrigen

5 Salzlösungen mit in Kerosin gelösten Hydroxyoximen; Aufarbeitung von Kernbrennstoffen, z.B. Extraktion von Uran-, Plutonium- und Thoriumsalzen durch Tributylphosphat; oder generell als Reinigungsoperation in der chemischen Verfahrenstechnik.

10 Die Fluidextraktion basiert auf dem Verteilungsgleichgewicht der zu extrahierenden Stoffe zwischen zwei nicht mischbaren fluiden Phasen. Eine zu extrahierende Komponente (Extraktstoff) liegt in einem fluiden Trägermedium gelöst oder dispergiert vor. Ein mit dem Trägermedium nicht mischbares

15 Lösemittel (Extraktionsmittel) besitzt eine in der Regel möglichst hohe Selektivität für den Extraktstoff. Trägermedium und Extraktionsmittel werden miteinander kontaktiert und es stellt sich idealerweise ein Verteilungsgleichgewicht für die Verteilung des Extraktstoffes zwischen Trägermedium

20 und Extraktionsmittel ein. Nach Phasentrennung ist das gebildete Raffinat an Extraktstoff angereichert und der gebildete Extrakt ist an Extraktstoff angereichert. Häufig reicht ein einziger Gleichgewichtsschritt für die gewünschte Anreicherung nicht aus, weil die Gleichgewichsteinstellung

25 nicht vollständig oder die Selektivität nicht ausreichend war. Es kann dann mit mehreren, hintereinandergeschalteten Trennstufen gearbeitet werden. Um einen möglichst effizienten Stoffaustausch zwischen den nicht mischbaren fluiden Phasen zu bewirken, muß eine möglichst große Phasengrenze geschaffen

30 werden. Zu diesem Zweck wird in Extraktionsapparaturen in der Regel eine der beiden Phasen in Tropfen verteilt, d.h. es

wird ein Gemisch einer dispersen Phase und einer kontinuierlichen Phase erzeugt. Welche der beiden Phasen dispergiert wird, hängt von mehreren Faktoren ab, z.B. Stoffeigenschaften, Mengen der Phasen oder Bauart der Extraktionsapparatur.

5 Im allgemeinen wird die Phase dispergiert, welche die größere Oberfläche liefert; meist die Phase mit dem größeren Mengenstrom. Eine Verteilung der Phasen ist insbesondere dann schwierig, wenn Phasen mit hoher Grenzflächenspannung eingesetzt werden. Hohe Grenzflächenspannung ist andererseits

10 wünschenswert, um die Bildung schwer entmischbarer Emulsionen zu verhindern.

Aufgabe der Erfindung war es, Extraktionsverfahren weiter zu verbessern, insbesondere im Hinblick auf eine effiziente  
15 Vermischung von Trägermedium und Extraktionsmittel.

Es wurde nun gefunden, dass die Verwendung von statischen Mikromischern besonders gut geeignet ist zur Vermischung von Trägermedium und Extraktionsmittel, in Extraktionsverfahren.

20 Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Durchführung von Extraktionen, wobei

- mindestens zwei nicht miteinander mischbare fluide Phasen miteinander vermischt werden,
- wobei mindestens eine der Phasen mindestens einen mit der anderen Phase extrahierbaren Stoff enthält,

25 wobei die Vermischung unter Verwendung mindestens eines statischen Mikromischers erfolgt, welcher mindestens ein Bauteil in Form einer Platte aufweist und wobei die Platte

- mindestens eine Eintrittsöffnung für den Eintritt

30 mindestens eines Fluidstroms in einen in der Plattenebene liegenden Verbindungskanal und mindestens eine

Austrittsöffnung für den Austritt des Fluidstroms in eine in der Plattenebene liegende Mischzone aufweist,

- wobei die Eintrittsöffnung mit den Austrittsöffnungen durch den in der Plattenebene liegenden Verbindungskanal 5 kommunizierend verbunden ist und
- wobei der Verbindungskanal vor der Mündung in die Mischzone durch Mikrostruktureinheiten in zwei oder mehr Teilkanäle aufgespalten wird, wobei die Breiten der Teilkanäle im Millimeter bis Submillimeterbereich liegen und kleiner sind 10 als die Breite der Mischzone.

Vorteile der Verwendung der statischen Mikromischer sind die Verkleinerung der Extraktorgröße und damit Integrierbarkeit in weitere Systeme. Es wird bei relativ geringen Druckver- 15 lusten eine schnelle und intensive Durchmischung ermöglicht bei kleinem Bauraum und einfacher Herstellung der benötigten Bauteile. Die Mikromischer können mit einem Abscheider in einer Mischer/Abscheider-Einheit integriert sein, ein Ab- scheider kann aber auch separat nachgeschaltet werden. Durch 20 das Zusammenwirken bzw. Hintereinanderschalten zweier oder mehrerer integrierter oder separater Mischer/Abscheider- Einheiten in einer Mischer/Abscheider-Batterie auf engem Raum ergeben sich weitere Möglichkeiten der Prozessoptimie- 25 rung, insbesondere hinsichtlich der Erreichung des gewünschten An- bzw. Abreicherungsgrades. Die mit den erfindungsgemäß eingesetzten statischen Mikromischern erzielbare effiziente Bildung von großen Grenzflächen insbesondere auch bei Vermischung von Fluiden mit hoher Grenzflächenspannung, unterstützt die Einstellung des 30 Verteilungsgleichgewichts. Es können Mischzeiten zwischen 1 s und wenigen Millisekunden erzielt werden.

Eine Klasse von bekannten Mikromischern beruht auf diffusionskontrollierten Mischvorgängen. Hierfür werden abwechselnd benachbarte Fluidlamellen einer Stärke im Mikrometerbereich erzeugt. Durch die Wahl der Geometrie ist ein Einstellen der Breite der Fluidlamellen und damit der Diffusionswege möglich. Derartige statische Mikromischer werden z.B. beschrieben in DE 199 27 556 A1, DE 202 06 371 U1, WO 02/089962. Nachteil der auf Diffusion zwischen mikroskopischen Fluidlamellen beruhender Mikromischer ist, dass eine relativ geringe Strömungsgeschwindigkeit zur Erzeugung und Aufrechterhaltung laminarer Strömungsverhältnisse erforderlich ist. Mit diesem Mischprinzip sind nur relativ geringe Durchsätze möglich.

Außerdem sind Mikromischer bekannt, die aus mit durchgehenden Kanälen versehenen Führungsbauteilen oder mit Nuten versehenen Folien bestehen, die beim Übereinanderschichten eine Anzahl von Kanälen für die verschiedenen, zu vermischtenden Fluide ergeben, wobei die Dimensionen der Kanäle im Mikrometerbereich liegen. Die Eduktströme treten als benachbarte Fluidlamellen aus den Kanälen in einen Mischraum aus, wobei die Vermischung durch Diffusion und/oder Turbulenz erfolgt (siehe insbesondere WO 97/17130 und dort zitierte Literatur sowie WO 97/17133, WO 95/30475, WO 97/16239, WO 00/78438). Die Herstellung dieser Bauteile ist relativ teuer und aufwändig und es können bei der Durchleitung der zu mischenden Fluide durch eine Vielzahl langer und sehr schmaler Kanäle relativ hohe Druckverluste auftreten. Dies kann den Einsatz starker Pumpensysteme erforderlich machen, wenn hohe Durchsätze erreicht werden sollen.

Unter dem Begriff "Fluid" wird ein gasförmiger oder flüssiger Stoff oder ein Gemisch solcher Stoffe verstanden, das einen oder mehrere feste, flüssige oder gasförmige Stoffe  
5 gelöst oder dispergiert enthalten kann.

Der Begriff "Teilkanäle" umfaßt auch eine Aufspaltung des Fluidstroms in Teilströme durch Mikrostruktureinbauten unmittelbar vor dem Austritt in die Mischzone. Die Dimensionen,

10 insbesondere die Längen und Breiten dieser Einbauten können dabei im Bereich von Millimetern liegen oder vorzugsweise kleiner 1 mm betragen. Die Teilkanäle sind vorzugsweise auf die zur Strömungskontrolle absolut nötige Länge verkürzt und erfordern daher für einen bestimmten Durchsatz vergleichbar 15 geringe Drücke. Vorzugsweise liegt das Verhältnis der Länge zur Breite der Teilkanäle im Bereich von 1:1 bis 20:1, insbesondere von 8:1 bis 12:1, besonders bevorzugt etwa 10:1. Die Mikrostruktureinbauten sind vorzugsweise so ausgestaltet, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstroms bei Austritt 20 in die Mischzone sowohl größer ist als bei Eintritt in den Verbindungskanals und vorzugsweise auch größer ist als die Strömungsgeschwindigkeit der Mischung durch die Mischzone.

25 Die auf den Platten aufgebrachten Verbindungs- und Teilkanäle sind in Freiform ausführbar. Sowohl die Platten als auch jeder darauf enthaltene einzelne Kanal können in Höhe, Breite und Dicke variieren, um auch unterschiedliche Medien und Mengen fördern zu können. Die Grundform der Platten ist 30 beliebig und kann rund z.B. kreisförmig oder elliptisch oder eckig, z.B. rechteckig oder quadratisch sein. Die Platten-

form kann auch in Bezug auf eine möglichst einfache Herstellung oder in Bezug auf ein möglichst geringes Gewicht und eine möglichst geringe ungenutzte Fläche optimiert sein. Die Ausgänge der Teilkanäle können in jeder beliebigen Weise 5 angeordnet sein, von der geraden Linie bis zur beliebigen geometrischen Form. Die Austrittsöffnungen können z.B. auf einer kreisförmigen Linie angeordnet sein, insbesondere wenn die Mischzone von der Plattenebene vollständig umschlossen vorliegt. Es lassen sich zwei bzw. mehr als zwei Komponenten 10 (A, B, C usw.) in einer Scheibe führen und diese mit gleichen oder unterschiedlichen Mengenverhältnissen mischen. Die Teilkanäle können zueinander oder bezogen auf die Linie, auf der die Ausgänge in die Mischzone liegen, in beliebigen Winkeln verlaufen. Es können mehrere Teilkanäle nebeneinan- 15 der angeordnet werden, die jeweils z.B. Komponente A führen und im benachbarten Abschnitt derselben Scheibe können mehrere Teilkanäle nebeneinander angeordnet werden, die jeweils z.B. Komponente B führen. Die Bauteile können mittels zusätzlicher Durchbrüche und zusätzlicher Teilkanäle 20 in den Platten jedoch auch so gestaltet sein, dass sich von Teilkanal zu Teilkanal die Komponenten A, B usw. in derselben Platte abwechseln.

Die Teilkanäle weisen an der Mündung in die Mischzone bevor- 25 zugt eine Breite im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 2 mm sowie eine Tiefe im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 10 mm und besonders bevorzugt eine Breite im Bereich von 5  $\mu\text{m}$  bis 250  $\mu\text{m}$  sowie eine Tiefe im Bereich von 250  $\mu\text{m}$  bis 5 mm auf.

30 Der Verbindungskanal kann eine variable Breite haben. Vorzugsweise ist das Verhältnis der größten Breite des

Verbindungskanals und/oder der Breite der Eintrittsöffnung zur Breite der Teilkänele an deren Austritt in die Mischzone größer 2, besonders bevorzugt größer 5. Das Verhältnis der Breite der Mischzone zur Breite der Teilkänele ist vorzugsweise größer 2, besonders bevorzugt größer 5.

Die plattenförmigen Bauteile können eine Dicke von 10 bis 1000  $\mu\text{m}$  haben. Die Höhe der Kanäle ist vorzugsweise kleiner 1000  $\mu\text{m}$ , besonders bevorzugt kleiner 250  $\mu\text{m}$ . Die Wanddicke der Mikrostruktureinbauten und des Kanalbodens ist vorzugsweise kleiner 100  $\mu\text{m}$ , besonders bevorzugt kleiner 70  $\mu\text{m}$ .

In einer besonderen Ausführungsform ist mindestens eine der Eintritts- oder Austrittsöffnungen oder die Mischzone von 15 der Plattenebene vollständig umschlossen. Die Öffnungen liegen dann z.B. als runde oder eckige, z.B. rechteckige Ausnehmungen vor. Im Falle einer umschlossenen Mischzone ist die bevorzugte Form ellipsen- oder kreisförmig. Die Teilkänele können sich in Form von Düsen in Richtung der Mischzone verjüngen. Die Teilkänele können geradlinig oder 20 spiralförmig gebogen sein. Die Teilkänele können rechtwinklig in Bezug auf die Umfangslinie der Mischzone in die Mischzone münden oder in einem von  $90^\circ$  verschiedenen Winkel. Bei nicht rechtwinkligem Verlauf sind bei der Bildung eines 25 Stapels aus mehreren Mischerplatten vorzugsweise jeweils Platten mit entgegengesetzter Abweichung vom rechten Winkel benachbart. Ebenso sind bei spiralförmigem Verlauf der Teilkänele bei der Bildung eines Stapels aus mehreren Mischerplatten vorzugsweise jeweils Platten mit entgegengesetzter Drehrichtung der Spirale benachbart.

Vorteilhaft ist auch, wenn die Teilkanäle einen gebogenen Verlauf in der Art aufweisen, dass den Zuflüssen in die Mischzone dieselbe Drehrichtung gegeben wird und sich innerhalb des Mischstroms ein starker Drall ausbildet, der zur 5 Folge hat, dass ein Zentrifugal-Effekt entsteht. Die schwerere der flüssigen Komponenten wird sich bevorzugt am äußeren Rand des die Mischzone durchströmenden Mischstroms aufhalten und die leichtere Komponente in der Mitte des Mischstroms. Wenn sich das zu extrahierende Gut in der 10 schwereren Phase befindet, kommt es auf diese Weise zu einer besonders innigen Vermischung mit der leichteren Phase, die aus den die Wandung des Hauptkanales bildenden Mikrokanälen zuströmt. Auf diese Weise kann die theoretische Bodenzahl einer Extraktion gesteigert werden. Ein derartiger, statischer Zentrifugalextraktor weist Vorteile eines Rotationsextraktors auf, ohne auf dessen aufwändige und störanfällige 15 Mechanik angewiesen zu sein.

Der Verbindungskanal zwischen den Öffnungen ist vorzugsweise 20 durch eine Vertiefung ausgebildet. Die Eintritts- und/oder Austrittsöffnung oder die Mischzone können aber auch am Plattenrand oder durch Aussparungen am Plattenrand angeordnet sein.

25 In einer weiteren besonderen Ausführungsform sind mindestens zwei Eintrittsöffnungen für mindestens zwei verschiedene Fluidströme vorhanden, wobei jede Eintrittsöffnung durch je einen Verbindungskanal mit der Mischzone verbunden ist. Dabei liegen vorzugsweise zwei Austrittsöffnungen für zwei 30 verschiedene Fluide an gegenüberliegenden Seiten der

Mischzone, wobei die Mischzone vorzugsweise vollständig umschlossen innerhalb der Plattenebene positioniert ist.

Als Material für die Bauteile eignen sich z.B. Metalle,  
5 insbesondere korrosionsbeständige Metalle wie z.B. Edelstahl, sowie Gläser, Keramik oder Kunststoff. Die Bauteile können hergestellt werden durch an sich bekannte Techniken zur Erzeugung von Mikrostrukturen auf Oberflächen, z.B. durch Ätzen oder Fräsen von Metallen oder durch Prägen oder  
10 Spritzen von Kunststoffen.

Ein erfindungsgemäß eingesetzter statischer Mikromischer weist ein Gehäuse mit mindestens 2 Fluidzuführungen und mindestens einer Fluidabführung auf. In dem Gehäuse befinden sich eine oder mindestens 2 zu einem Stapel angeordnete plattenförmige Mikromischerbauteile. Aus einer beliebigen Anzahl an Platten können Stapel erzeugt werden, die einen der Stapelhöhe entsprechenden Durchfluß realisieren lassen. Um an jeder Stelle des Mischers denselben Druck zu gewährleisten, kann bei größeren Längen die Fluidzufuhr an mehreren Stellen erfolgen. Nuten oder Stege in bzw. auf den Platten können der Stapel- und Justierbarkeit dienen. Die Platten liegen so übereinander, dass die Eintrittsöffnungen Nebenkanäle zum Zuführen des jeweiligen Träger- bzw. Extraktionsfluids und die Austrittsöffnungen bzw. die Mischzonen zusammen einen Hauptkanal zum Abführen der Fluidmischung bilden und sich die Haupt- und Nebenkanäle durch den Stapel erstrecken. Wenn die Eintrittsöffnungen als Aussparungen am Plattenrand angeordnet sind, bildet die Gehäusewand einen den jeweiligen Nebenkanal nach außen abschließenden Teil der Nebenkanalwand. Wenn die Mischzone als Aussparung am Plattenrand angeordnet ist,

bildet die Gehäusewand einen den Hauptkanal nach außen abschließenden Teil der Hauptkanalwand. Insgesamt kann der Mikromischer z.B. mindestens 5, 10, 100 oder auch mehr als 1000 Teilkanäle aufweisen und besteht aus einem Stapel von 5 mit jeweils mehreren Teilkanälen aufweisenden Platten.

Vorzugsweise ist jeder aus einer Austrittsöffnung einer Platte in die Mischzone austretende Teilstrom eines ersten Fluids A einem aus einer Austrittsöffnung einer benachbarten 10 Platte in die Mischzone austretenden Teilstroms eines zweiten Fluids B unmittelbar benachbart und es kommt in der Mischzone zu einer Vermischung durch Diffusion und/oder Turbulenz, wobei eine Vermischung bevorzugt ist, die zumindest teilweise oder vollständig durch Turbulenz erfolgt.

15 In einer Ausführungsform des Mikromischers sind die Verbindungskanäle der Platten durch Vertiefungen ausgebildet und die Verbindungskanäle werden vor der Mündung in die Mischzone durch auf den Platten angebrachte Mikrostruktureinheiten in 20 Teilkanäle aufgespalten. In einer alternativen Ausführungsform sind die Verbindungskanäle der Platten durch Ausnehmungen in den Platten gebildet, wobei die Platten als Zwischenplatten zwischen je einer Deck- und einer Bodenplatte angeordnet sind und die Verbindungskanäle vor der Mündung in die 25 Mischzone durch an den Deck- und/oder Bodenplatten angebrachten Mikrostruktureinheiten in Teilkanäle aufgespalten werden. In die erfindungsgemäßen Mikromischer können zur Wärmezu- oder -abführung Wärmetauscher integriert sein. Dadurch kann aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Verteilungskoeffizienten das Trennverhalten weiter optimiert werden und es 30

lassen sich unter Kühlung Tieftemperaturextraktionen temperaturempfindlicher Stoffe durchführen.

Bei dem erfindungsgemäßen Extraktionsverfahren ist vorzugsweise die Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstroms oder der Fluidströme in die Mischzone größer als die Strömungsgeschwindigkeit der Mischung innerhalb der Mischzone. Besonders bevorzugt sind Ausgestaltungen des Mikromischers sowie Strömungsgeschwindigkeiten, bei denen in der Mischzone 10 Turbulenz erzeugt wird und die Mischung in der Mischzone ganz oder zumindest teilweise durch Turbulenz erfolgt.

Die beiden fluiden Phasen können entweder über verschiedene Nebenkanäle zugeführt werden oder eine der Phasen (vorzugsweise die kontinuierliche Phase) wird durch den Hauptkanal und eine zweite Phase (vorzugsweise die zu dispergierende Phase) über einen Nebenkanal zugeführt.

Zur Erhöhung der Kapazität der erfindungsgemäßen Verfahren kann die Anzahl der Kanäle in den Platten erhöht werden oder die Anzahl der übereinandergeschichteten Platten in einem Mikromischer kann erhöht werden oder es können mehrere Mikromischer modulartig parallel zusammengeschaltet betrieben werden. Es können auch zwei oder mehrere Mikromischer in Reihe geschaltet hintereinander betrieben werden, insbesondere zur Verbesserung der Trennleistung. Dabei können Abscheider zur Trennung und Separierung der nichtmischbaren Phasen entweder in den Mikromischern integriert sein und/oder den Mikromischern als separate Einheiten nachgeschaltet sein.

Nachfolgend werden beispielhafte Ausführungsformen von erfindungsgemäß geeigneten Bauteilen und Mikromischern anhand von Zeichnungen erläutert.

5 Fig. 1a-b Mischplatten mit zwei Eintrittsöffnungen für zwei Fluidströme wobei Ein- und Austrittsöffnungen umschlossen sind

Fig. 1c Mischplatte mit einer einzigen Eintrittsöffnung, wobei Ein- und Austrittsöffnungen umschlossen sind

10 Fig. 1d Mischplatte mit jeweils umschlossener Eintritts-, Durchtritts- und Austrittsöffnung

Fig. 2a-c Mischplatten mit drei Eintrittsöffnungen für bis zu drei gleiche oder verschiedene Fluidströme, wobei Ein- und Austrittsöffnungen umschlossen sind

15 Fig. 3a-b Mischplatten mit zwei Eintrittsöffnungen am Plattenrand für zwei Fluidströme und umschlossener Austrittsöffnung

Fig. 3c-d Mischplatten mit vier Eintrittsöffnungen am Plattenrand für bis zu vier gleiche oder verschiedene Fluidströme und umschlossener Austrittsöffnung

20 Fig. 4a-f Mischplatten mit umschlossener Eintrittsöffnung und umschlossener Durchtrittsöffnung für zwei Fluidströme und Austrittsöffnung am Plattenrand

25 Fig. 5a-b Mischplatten mit umschlossener Eintrittsöffnung und zwei umschlossenen Durchtrittsöffnungen für bis zu drei verschiedene Fluidströme und Austrittsöffnung am Plattenrand

30 Fig. 6a Längsschnitt des schematischen Aufbaus eines statischen Mikromischers

Fig. 6b Mischerscheibe in einem offenen Gehäuse

Fig. 7a-b Mischplatten mit umschlossenen Ein- und Durchtrittsöffnungen und zusätzlichen Teilkanälen,  
wobei benachbarte Teilkanäle von verschiedenen  
Fluiden durchströmt werden können

Fig. 8a,c Mischplatten mit umschlossenen Ein- und Durchtrittsöffnungen und zusätzlichen Teilkanälen,  
wobei benachbarte Teilkanäle von verschiedenen  
Fluiden durchströmt werden können

Fig. 8b Mischplatte mit umschlossener Eintrittsöffnung  
und drei umschlossenen Durchtrittsöffnungen und  
zusätzlichen Teilkanälen, wobei benachbarte Teil-  
kanäle von verschiedenen Fluiden durchströmt  
werden können

Fig. 9 Mikromischer mit Gehäuse und einem Stapel aus  
mehreren Mischplatten

Eine Ausführungsform ist in Fig. 1a und Fig. 1b dargestellt.  
Die Platten (1) weisen je zwei umschlossene Eintrittsöffnungen (2) auf. Jede Eintrittsöffnung (2) ist mit je einem, in  
der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbin-  
dungskanal (3) verbunden. Jeder Vertiefungskanal (3) wird  
durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine  
Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten. Die Teilkanäle  
(7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in eine um-  
schlossene Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind  
auf einer kreisförmigen Linie um die Mischzone (5) herum  
angeordnet. Mischzone (5) und Eintrittsöffnungen (2) sind  
als Durchbrüche in den Platten ausgebildet. Die Mikro-  
struktureinheiten sind beispielhaft spiralförmig gebogen  
ausgebildet, wobei die Spiralen in Fig. 1a und Fig. 1b ent-

gegengesetzten Drehsinn haben. Die Mikrostruktureinheiten können aber auch geradlinig, ungebogen ausgebildet sein. Wenn die Platten rund ausgebildet sind, weisen sie vorzugsweise am Rand Aussparungen (8) auf, welche mit Halterungselementen (14) in einem Gehäuse (11) zusammenwirken können, um ein Verdrehen oder Verrutschen der Platten zu vermeiden. Die Platten können aber auch eckig, vorzugsweise viereckig, z.B. quadratisch ausgebildet sein. Dann können die Aussparungen und Halterungselemente entfallen. Durch die zwei Eintrittsöffnungen (2) können zwei verschiedene Fluidströme in einer Ebene der Mischzone (5) zugeführt werden, wobei die beiden verschiedenen Fluidströmen zugeordneten Austrittsöffnungen vorzugsweise einander gegenüber liegen. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinander liegenden Bauteilen auf, wobei sich Platten gemäß Fig. 1a mit solchen gemäß Fig. 1b abwechseln und sich ein Aufbau mit alternierender Schichtstruktur ABAB usw. ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass die Eintrittsöffnungen Nebenkanäle zum Zuführen des jeweiligen Fluidstroms und die Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden.

Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 1c dargestellt. Die Platte (1) weist eine einzige umschlossene Eintrittsöffnung (2) auf, welche mit einem in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden ist.

Der Vertiefungskanal (3) wird durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in die Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen 5 (4) sind auf einer kreisförmigen Linie um die Mischzone (5) herum angeordnet. Mischzone (5) und Eintrittsöffnung (2) sind als Durchbrüche in der Platte ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten sind beispielhaft spiralförmig gebogen ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten können aber auch 10 geradlinig, ungebogen oder in beliebigen anderen geometrischen Formen ausgebildet sein. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinander liegenden Bauteilen auf. In dem Stapel liegen die Platten so über- einander, dass die Eintrittsöffnungen einen Nebenkanal zum 15 Zuführen eines Fluidstroms und die Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann eine der zu vermischenden Komponenten, vorzugsweise ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden. Diese Ausführungsform ist z.B. 20 besonders geeignet zur Gas/Flüssig-Extraktion. Hierbei wird die flüssige Phase über den zentralen Hauptkanal zugeführt und die Gasphase wird über den Nebenkanal zugeführt. Vorteilhafterweise kann der Plattenstapel einen Aufbau mit alternierender Schichtstruktur haben, wobei abwechselnd 25 Platten aufeinanderliegen, die spiralförmige Mikrostruktur- einheiten (6) mit entgegengesetzter Drehrichtung aufweisen. Es kann aber auch nur ein einziger Plattentyp verwendet werden. Die Mikrostruktureinheiten sind dann vorzugsweise geradlinig ausgebildet und so geformt, dass die Teilkanäle 30 Düsen bilden.

Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 1d dargestellt. Die Platte (1) weist eine umschlossene Eintrittsöffnung (2), eine umschlossene Mischzone (5) und eine umschlossene Durchtrittsöffnung (9) auf. Die Eintrittsöffnung (2) ist mit 5 einem in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden, welcher durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten wird. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in die Mischzone (5). Die 10 Austrittsöffnungen (4) sind auf einer kreisförmigen Linie um die Mischzone (5) herum angeordnet. Mischzone (5), Eintrittsöffnung (2) und Durchtrittsöffnung (9) sind als Durchbrüche in der Platte ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten sind beispielhaft spiralförmig gebogen ausgebildet. Die 15 Mikrostruktureinheiten können aber auch geradlinig, ungebogen oder in beliebigen anderen geometrischen Formen ausgebildet sein. Mit zusätzlichen Einbauten (10) im Verbindungs- kanal können die Strömungsverhältnisse im Verbindungs- kanal (3) optimiert werden. Wenn die Platten rund ausgebildet 20 sind, weisen sie vorzugsweise am Rand Aussparungen (8) auf, welche mit Halterungselementen (14) in einem Gehäuse (11) zusammenwirken können, um ein Verdrehen oder Verrutschen der Platten zu vermeiden. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen 25 auf, wobei Platten gemäß Fig. 1d abwechselnd um 180° verdreht übereinander liegen. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass sich 30 Eintrittsöffnungen (2) und Durchtrittsöffnungen (9) abwechseln und zwei Nebenkanäle zum Zuführen von zwei Fluidströmen

bilden und die Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden. Vorteilhafterweise kann der Plattenstapel 5 einen Aufbau mit alternierender Schichtstruktur haben, wobei abwechselnd Platten aufeinanderliegen, die spiralförmige Mikrostruktureinheiten (6) mit entgegengesetzter Drehrichtung aufweisen. Es kann aber auch nur ein einziger Platten- 10 typ verwendet werden. Die Mikrostruktureinheiten sind dann vorzugsweise geradlinig ausgebildet und so geformt, dass die Teilkanäle Düsen bilden.

Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 2a bis 2c dargestellt. Die Platten (1) weisen je drei umschlossene Eintrittsöffnungen (2) auf. Jede Eintrittsöffnung (2) ist mit 15 je einem, in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden. Jeder Vertiefungskanal (3) wird durch mindestens eine Mikrostruktureinheit (6) in mindestens zwei Teilkanäle (7) aufgespalten. Durch 20 eine größere Anzahl an Mikrostruktureinbauten kann eine Aufspaltung in eine entsprechend größere Anzahl an Teilkanälen erfolgen. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in die Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind auf einer kreisförmigen Linie um die 25 Mischzone (5) herum angeordnet. Mischzone (5) und Eintrittsöffnungen (2) sind als Durchbrüche in den Platten ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten können spiralförmig mit verschiedenen Drehrichtungen oder geradlinig ausgebildet sein. Durch die drei Eintrittsöffnungen (2) können gleiche 30 oder bis zu drei verschiedene Fluidströme in einer Ebene der Mischzone (5) zugeführt werden. Ein Mikromischer weist

vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei sich die verschiedenen Plattentypen gemäß Fig. 2a, 2b und 2c abwechseln und sich ein Aufbau mit alternierender Schichtstruktur, z.B. ABCABC ergibt. Hier-  
5 durch wird erreicht, dass jeweils zwei verschiedene Fluid- ströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass die Eintrittsöffnungen Nebenkanäle zum Zuführen des jeweiligen Fluidstroms und die  
10 Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden.

15 Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 3a und Fig. 3b dargestellt. Die Platten (1) weisen je zwei am Plattenrand positionierte Eintrittsöffnungen (2) auf. Jede Eintritts- öffnung (2) ist mit je einem, in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden.  
20 Jeder Vertiefungskanal (3) wird durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in eine umschlossene Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind auf einer geraden Linie angeord-  
25 net. Die Mischzone (5) ist beispielhaft als rechteckiger Durchbruch in den Platten ausgebildet. Die Mikrostrukturein- heiten sind beispielhaft schräg zur Fließrichtung ausgebil- det, wobei die Schrägen in Fig. 1a und Fig. 1b entgegenge- setzte Richtung aufweisen. Die Mikrostruktureinheiten können aber auch jeweils mit gleicher oder keiner Schräge ausgebil-  
30 det sein. Die Platten haben in etwa quadratische Grundform,

können aber auch jede beliebige andere geometrische Grundform (eckig, rund, elliptisch etc.) haben. Durch die zwei Eintrittsöffnungen (2) können zwei verschiedene Fluidströme in einer Ebene der Mischzone (5) zugeführt werden, wobei die 5 den beiden verschiedenen Fluidströmen zugeordneten Austrittsöffnungen bevorzugt einander gegenüber liegen. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei sich Platten gemäß Fig. 3a mit solchen gemäß Fig. 3b abwechseln und sich ein 10 Aufbau mit alternierender Schichtstruktur ABAB ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass die Eintrittsöffnungen 15 zusammen mit dem Mischergehäuse am Rand des Mischers Nebenkanäle zum Zuführen des jeweiligen Fluidstroms und die Mischzonen einen Hauptkanal im Innern des Mischers zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung 20 bildendes Fluid zugeführt werden.

Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 3c und Fig. 3d dargestellt. Die Platten (1) weisen je vier am Plattenrand positionierte Eintrittsöffnungen (2) auf. Jede Eintrittsöffnung (2) ist mit je einem, in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden. Jeder Vertiefungskanal (3) wird durch mehrere Mikrostruktur- 25 einheiten (6) in mehrere Teilkanäle (7) aufgespalten. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in 30 eine umschlossene Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind auf einer Kreislinie angeordnet. Die Verbindungskanäle

sind spiralförmig gebogen, wobei der Drehsinn der Spiralen in Fig. 3c und Fig. 3d entgegengesetzt sind. Die Mischzone (5) ist als Durchbruch in den Platten ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten sind beispielhaft gerade ausgebildet, 5 können aber auch schräg oder spiralförmig gebogen sein. Die Platten haben in etwa quadratische Grundform, können aber auch jede beliebige andere geometrische Grundform (eckig, rund, elliptisch etc.) haben. Durch die vier Eintrittsöffnungen (2) können gleiche oder bis zu vier verschiedene 10 Fluidströme in einer Ebene der Mischzone (5) zugeführt werden, wobei die verschiedenen Fluidströmen zugeordneten Austrittsöffnungen bevorzugt einander gegenüber liegen. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei sich Platten gemäß 15 Fig. 3c mit solchen gemäß Fig. 3d mit entgegengesetztem Drehsinn der spiralartig gebogenen Verbindungskanäle abwechseln und sich ein Aufbau mit alternierender Schichtstruktur ABAB ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und 20 untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass die Eintrittsöffnungen zusammen mit dem Mischergehäuse am Rand des Mischers Nebenkanäle zum Zuführen des jeweiligen Fluidstroms und die Mischzonen einen Hauptkanal im Innern des 25 Mischers zum Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden.

Weitere Ausführungsformen sind in Fig. 4a bis 4f dargestellt. Die Platten (1) weisen je eine umschlossene Eintrittsöffnung (2) und je eine umschlossene Durchtrittsöff- 30

nung (9) auf. Jede Eintrittsöffnung (2) ist mit je einem, in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden. Jeder Verbindungskanal (3) wird durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine 5 Vielzahl von Teilkanalen (7) aufgespalten. Die Teilkanäle (7) münden durch am Rand der Platten angeordnete Austrittsöffnungen (4) in eine außerhalb der Plattenfläche liegende Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) können auf geraden Linien (Fig. 4e, 4f) oder auf Bogensegmenten angeordnet 10 sein, wobei die Bogensegmente konvex (Fig. 4a, 4b) oder konkav (Fig. 4c, 4d) sein können. Die Eintrittsöffnungen (2) und die Durchtrittsöffnungen (9) sind als Durchbrüche in den Platten ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten können 15 parallel oder in verschiedenen Winkeln zur durch den Verbindungskanal vorgegebenen Fließrichtung angestellt sein. Wenn die Platten rund ausgebildet sind, weisen sie vorzugsweise am Rand Aussparungen (8) auf, welche mit Halterungselementen (14) in einem Gehäuse (11) zusammenwirken können, um ein Verdrehen oder Verrutschen der Platten zu vermeiden. Ein 20 Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei sich Platten gemäß Fig. 4a mit solchen gemäß Fig. 4b, bzw. Platten gemäß Fig. 4c mit solchen gemäß Fig. 4d, bzw. Platten gemäß Fig. 4e mit solchen gemäß Fig. 4f jeweils abwechseln und sich ein Aufbau 25 mit alternierender Schichtstruktur ABAB ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. Vorzugsweise sind die Winkel der Teilkanäle bei der Mündung in die Mischzone in Relation zur 30 Umfangslinie der Mischzone in benachbarten Platten verschieden, besonders bevorzugt haben sie entgegengesetzte Abwei-

chungen von 90°. In dem Stapel liegen die Platten so über-  
einander, dass sich Eintrittsöffnungen (2) und Durchtritts-  
öffnungen (9) abwechseln und zwei im Innern des Mischers  
liegende Nebenkanäle zum Zuführen von zwei Fluidströmen  
5 bilden. Die Mischzone kann mit einem Gehäuse einen Haupt-  
kanal zum Abführen der Mischung bilden.

Weitere Ausführungsformen sind in Fig. 5a und Fig. 5b  
dargestellt. Die Platten (1) weisen je eine umschlossene  
10 Eintrittsöffnung (2) und je zwei umschlossene Durchtritts-  
öffnungen (9) auf. Jede Eintrittsöffnung (2) ist mit je  
einem, in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebil-  
deten Verbindungskanal (3) verbunden. Jeder Verbindungskanal  
(3) wird durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6)  
15 in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten. Die  
Teilkanäle (7) münden durch am Rand der Platten angeordnete  
Austrittsöffnungen (4) in eine außerhalb der Plattenfläche  
liegende Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) können  
auf geraden Linien (Fig. 5a) oder auf Bogensegmenten (Fig.  
20 5b) angeordnet sein, wobei die Bogensegmente konvex oder  
konkav sein können. Die Eintrittsöffnungen (2) und die  
Durchtrittsöffnungen (9) sind als Durchbrüche in den Platten  
ausgebildet. Die Mikrostruktureinheiten können parallel oder  
25 in verschiedenen Winkeln zur durch den Verbindungskanal  
vorgegebenen Fließrichtung angestellt sein. Wenn die Platten  
rund ausgebildet sind, weisen sie vorzugsweise am Rand  
Aussparungen (8) auf, welche mit Halterungselementen (14) in  
einem Gehäuse (11) zusammenwirken können, um ein Verdrehen  
oder Verrutschen der Platten zu vermeiden. Ein Mikromischer  
30 weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinander  
liegenden Bauteilen auf, wobei sich Platten der drei

verschiedenen Typen gemäß Fig. 5a bzw. 5b jeweils abwechseln und sich ein Aufbau mit alternierender Schichtstruktur ABCABC ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass jeweils verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) zugeführt werden können.

5 Vorzugsweise sind die Winkel der Teilkäne bei der Mündung in die Mischzone in Relation zur Umfangslinie der Mischzone in benachbarten Platten verschieden, besonders bevorzugt haben sie entgegengesetzte Abweichungen von  $90^\circ$ . In dem

10 Stapel liegen die Platten (1) so übereinander, dass sich Eintrittsöffnungen (2) und Durchtrittsöffnungen (9) abwechseln und drei im Innern des Mischer bilden. Die Mischzone (5) kann mit einem Gehäuse

15 einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung bilden.

In Fig. 6a ist in Form eines Längsschnitts der schematische Aufbau einer Ausführungsform eines statischen Mikromischers dargestellt. Ein Gehäuse (11) weist Fluidzuführungen (12a)

20 auf. In dem Gehäuse (11) ist ein Stapel aus mehreren erfundungsgemäßen Mischerplatten (1) enthalten. Die Ein- und/oder Durchtrittsöffnungen der Platten können mittels einer vorzugsweise senkrecht zur Plattenebene beweglichen Verschlußvorrichtung (13a) verschlossen und geöffnet werden. Mit der

25 Verschlußvorrichtung kann auch die Strömungsgeschwindigkeit eingestellt werden. Die Mischung kann von der innerhalb des Gehäuses liegenden Mischzone über eine geeignete Fluidabführung abgeführt werden.

30 In Fig. 6b ist der Querschnitt eines statischen Mischer dargestellt. In einem Gehäuse (11) ist eine Mischerplatte

(1) eingebaut, die mittels Aussparungen (8) und Halterungselementen (14) in Position gehalten wird. Als Mischerplatte ist beispielhaft eine solche gemäß Fig. 5a dargestellt.

5 Weitere, bevorzugte Ausführungsformen sind in Fig. 7a-b und Fig. 8a-c dargestellt. Bei diesen Ausführungsformen weisen die Platten (1) nebeneinanderliegende Teilkanäle (7) und (13) auf, die abwechselnd von verschiedenen Fluidströmen durchströmt werden können und so verschiedene Fluidströme in  
10 einer Ebene unmittelbar benachbart der Mischzone (5) zugeführt werden können.

Die in Fig. 7a dargestellten Platten (1) weisen jeweils eine umschlossene Eintrittsöffnung (2), eine umschlossene Mischzone (5) und eine umschlossene Durchtrittsöffnung (9) auf.  
15 Die Eintrittsöffnung (2) ist mit einem in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden, welcher durch eine Vielzahl von Mikrostruktureinheiten (6) in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten wird. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in die Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind  
20 auf einer kreisförmigen Linie um die Mischzone (5) herum angeordnet. Mischzone (5), Eintrittsöffnung (2) und Durchtrittsöffnung (9) sind als Durchbrüche in der Platte  
25 ausgebildet. In den Mikrostruktureinheiten (6) sind vertieft ausgebildete weitere Teilkanäle (13) integriert, welche gegenüber dem Verbindungskanal (3) abgeschirmt sind und in die Mischzone (5) münden. Die Teilkanäle (7) und die weiteren Teilkanäle (13) sind abwechselnd benachbart angeordnet.  
30 Die Platten weisen zusätzliche Durchbrüche (12) auf, wobei die Anzahl der Durchbrüche (12) und die Anzahl der zusätz-

lichen Teilkanäle (13) gleichgroß sind. Die Durchbrüche (12) sind so angeordnet, dass sie, wenn eine Platte (1) um  $180^\circ$  verdreht auf eine zweite Platte (1) gelegt wird, jeweils oberhalb der zusätzlichen Teilkanäle (13) der darunter liegenden Platte liegen. Ein durch die Eintrittsöffnung (2) in den Verbindungskanal (3) strömender Fluidstrom kann durch die Durchbrüche (12) in einen zusätzlichen Teilkanal (13) einer darunterliegenden Platte fließen. Die Winkel benachbarter Teilkanäle (7) und (13) zueinander und in Bezug auf die Umfangslinie der Mischzone können verschieden sein. In Fig. 7a haben die Winkel der Teilkanäle (7) gegenüber den Winkeln der zusätzlichen Teilkanäle (13) in Bezug auf die Umfangslinie der Mischzone (5) entgegengesetzte Abweichungen von  $90^\circ$ . Dadurch weisen die Austrittsöffnungen von je zwei Teilkanälen paarweise aufeinander zu. Dadurch können zwei verschiedene Fluidströme aufeinander zugeführt werden. Die Teilkanäle können aber auch parallel im rechten Winkel oder schräg zur Mischzone verlaufen. Fig. 7a zeigt nebeneinander zwei identische, um  $180^\circ$  verdrehte Platten (1). Fig. 7b zeigt schematisch zwei um  $180^\circ$  verdreht aufeinandergelegte Platten. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei Platten gemäß Fig. 7a abwechselnd um  $180^\circ$  verdreht übereinander liegen. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme sowohl unmittelbar benachbart über- und untereinander als auch unmittelbar benachbart nebeneinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass sich Eintrittsöffnungen (2) und Durchtrittsöffnungen (9) abwechseln und zwei Nebenkanäle zum Zuführen von zwei Fluidströmen bilden und die Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der Mischung

bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden. Außerdem liegen die Platten so übereinander, dass jeder zusätzliche Durchbruch (12) einer Platte mit je einem 5 zugehörigen zusätzlichen Teilkanal (13) einer benachbarten Platte kommunizierend verbunden ist.

In Fig. 8a ist eine Ausführungsform ähnlich derjenigen der Fig. 7a dargestellt, mit dem Unterschied, dass die Teil- 10 kanäle (7) und die zusätzlichen Teilkanäle (13) parallel in gleichen Winkeln der Mischzone (5) schräg zugeführt werden. Die linke Platte der Fig. 8a unterscheidet sich dabei von der rechten Platte dadurch, dass der Winkel der Teilkanäle (7) und (13) zur Umfangslinie der Mischzone (5) eine ent- 15 gegengesetzte Abweichung von  $90^\circ$  aufweist. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinander liegenden Bauteilen auf, wobei sich linke und rechte Platten gemäß Fig. 8a abwechseln und sich ein Aufbau mit alternie- 20 render Schichtstruktur ABAB ergibt. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme unmittelbar benachbart über- und untereinander der Mischzone (5) in entgegengesetzten Winkeln zugeführt werden können.

In Fig. 8c ist eine Ausführungsform ähnlich derjenigen der 25 Fig. 8a dargestellt, mit dem Unterschied, dass die Teilkanäle (7) und die zusätzlichen Teilkanäle (13) parallel und senkrecht zur Mischzone (5) zugeführt werden. Ein Mikromischer weist vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei sich linke und 30 rechte Platten gemäß Fig. 8c abwechseln und sich ein Aufbau mit alternierender Schichtstruktur ABAB ergibt. In dem

Stapel liegen die Platten so übereinander, dass sich Eintrittsöffnungen (2) und Durchtrittsöffnungen (9) abwechseln und zwei Nebenkanäle zum Zuführen von zwei Fluidströmen bilden und die Mischzonen einen Hauptkanal zum Abführen der 5 Mischung bilden. Außerdem liegen die Platten so übereinander, dass jeder zusätzliche Durchbruch (12) einer Platte mit je einem zugehörigen zusätzlichen Teilkanal (13) einer benachbarten Platte kommunizierend verbunden ist. Hierdurch wird erreicht, dass zwei verschiedene Fluidströme sowohl 10 unmittelbar benachbart über- und untereinander als auch unmittelbar benachbart nebeneinander der Mischzone (5) zugeführt werden können.

Eine weitere Ausführungsform ist in Fig. 8b dargestellt. Eine 15 Platte (1) weist eine umschlossene Eintrittsöffnung (2), drei umschlossene Durchtrittsöffnungen (9) und eine umschlossene Mischzone (5) auf. Die Eintrittsöffnung (2) ist mit einem in der Plattenebene durch eine Vertiefung ausgebildeten Verbindungskanal (3) verbunden, welcher durch eine Vielzahl von 20 Mikrostruktureinheiten (6) in eine Vielzahl von Teilkanälen (7) aufgespalten wird. Die Teilkanäle (7) münden durch die Austrittsöffnungen (4) in die Mischzone (5). Die Austrittsöffnungen (4) sind auf einer kreisförmigen Linie um die Mischzone (5) herum angeordnet. Mischzone (5), Eintrittsöffnung (2) und Durchtrittsöffnung (9) sind als Durchbrüche 25 in der Platte ausgebildet. In den Mikrostruktureinheiten (6) sind vertieft ausgebildete weitere Teilkanäle (13) integriert, welche gegenüber dem Verbindungskanal (3) abgeschirmt sind und in die Mischzone (5) münden. Die Teilkanäle (7) und 30 die weiteren Teilkanäle (13) sind abwechselnd benachbart angeordnet. Die Platten weisen zusätzliche Durchbrüche (12)

auf, wobei die Anzahl der Durchbrüche (12) und die Anzahl der zusätzlichen Teilkanäle (13) gleichgroß sind. Die Durchbrüche (12) sind so angeordnet, dass sie, wenn eine Platte (1) um 90° verdreht auf eine zweite Platte (1) gelegt wird, jeweils 5 oberhalb der zusätzlichen Teilkanäle (13) der darunter liegenden Platte liegen. Ein durch die Eintrittsöffnung (2) in den Verbindungskanal (3) strömender Fluidstrom kann durch die Durchbrüche (12) in einen zusätzlichen Teilkanal (13) einer darunterliegenden Platte fließen. Die Winkel benachbar-  
10 ter Teilkanäle (7) und (13) zueinander und in Bezug auf die Umfangslinie der Mischzone können verschieden sein. In Fig. 8b haben die Winkel der Teilkanäle (7) gegenüber den Winkeln der zusätzlichen Teilkanäle (13) in Bezug auf die Umfangs-  
linie der Mischzone (5) eine von 90° entgegengesetzte  
15 Abweichung. Dadurch weisen die Austrittsöffnungen von je zwei Teilkanäle paarweise aufeinander zu. Dadurch können zwei verschiedene Fluidströme aufeinander zugeführt werden. Die Teilkanäle können aber auch parallel im rechten Winkel oder schräg zur Mischzone verlaufen. Ein Mikromischer weist  
20 vorzugsweise einen Stapel von mehreren, aufeinanderliegenden Bauteilen auf, wobei Platten gemäß Fig. 8b in beliebiger Reihenfolge um 90°, 180° oder 270° verdreht übereinander liegen. Hierdurch wird erreicht, dass verschiedene Fluid-  
ströme sowohl unmittelbar benachbart über- und untereinander  
25 als auch unmittelbar benachbart nebeneinander der Mischzone (5) zugeführt werden können. Insgesamt können bis zu vier verschiedene Fluide mit dem Mikromischer vermischt werden. In dem Stapel liegen die Platten so übereinander, dass sich Ein-  
trittsöffnungen (2) und Durchtrittsöffnungen (9) abwechseln  
30 und insgesamt vier Nebenkanäle zum Zuführen von bis zu vier Fluidströmen bilden und die Mischzonen einen Hauptkanal zum

Abführen der Mischung bilden. Über den Hauptkanal kann aber auch ein die spätere kontinuierliche Phase der Mischung bildendes Fluid zugeführt werden. Außerdem liegen die Platten so übereinander, dass jeder zusätzliche Durchbruch (12) einer 5 Platte mit je einem zugehörigen zusätzlichen Teilkanal (13) einer benachbarten Platte kommunizierend verbunden ist.

In Fig. 9 ist beispielhaft eine mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäß einsetzbaren statischen Mikromischers 10 in einer Explosionsdarstellung dargestellt. Ein Gehäuse (11) enthält einen Stapel an erfindungsgemäßen Bauteilen in Form von Platten (1). Dargestellt ist beispielhaft ein Stapel aus mehreren Platten gemäß Fig. 8a, es können aber auch andere erfindungsgemäße Platten verwendet werden, wobei gegebenenfalls 15 die Gehäuseform, Anzahl und Position der Fluidzufuhr- und abführungen etc. anzupassen sind. Die Platten (1) werden so eingesetzt, dass die Aussparungen (8) mit den Halterungselementen (14) zusammenwirken, um ein Verdrehen der Platten zu verhindern. Das Gehäuse weist zwei Fluidzuführungen (12a) 20 zur Zuführung der Fluide auf. Das Gehäuse kann mit einem Deckel (15) verschlossen werden, welcher eine Fluidabführung (16) aufweist.

In einer Ausführungsform kann das erfindungsgemäße 25 Extraktionsverfahren nach dem Gegenstromprinzip durchgeführt werden, wobei die Zuführung der fluiden Phase mit geringerer Dichte unterhalb der Zuführung der fluiden Phase mit höherer Dichte erfolgt.

**Bezugszeichenliste**

- 1 Platte
- 2 Eintrittsöffnung
- 5 3 Verbindungskanal
- 4 Austrittsöffnung
- 5 Mischzone
- 6 Mikrostruktureinheit
- 7 Teilkanal
- 10 8 Aussparung
- 9 Durchtrittsöffnung
- 10 Einbauten
- 11 Gehäuse
- 12 Durchbruch
- 15 12a Fluidzuführung
- 13 zusätzlicher Teilkanal
- 13a Verschlußvorrichtung
- 14 Halterungselement
- 15 Deckel
- 20 16 Fluidabführung

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Durchführung von Extraktionen, wobei
  - mindestens zwei nicht miteinander mischbare fluide Phasen miteinander vermischt werden,
  - wobei mindestens eine der Phasen mindestens einen mit der anderen Phase extrahierbaren Stoff enthält, wobei die Vermischung unter Verwendung mindestens eines statischen Mikromischers erfolgt, welcher mindestens ein Bauteil in Form einer Platte (1) aufweist und wobei die Platte (1)
    - mindestens eine Eintrittsöffnung (2) für den Eintritt mindestens eines Fluidstroms in einen in der Platten-ebene liegenden Verbindungskanal (3) und mindestens eine Austrittsöffnung (4) für den Austritt des Fluidstroms in eine in der Plattenebene liegende Mischzone (5) aufweist,
    - wobei die Eintrittsöffnung (2) mit den Austrittsöffnungen (4) durch den in der Plattenebene liegenden Verbindungskanal (3) kommunizierend verbunden ist und
    - wobei der Verbindungskanal (3) vor der Mündung in die Mischzone (5) durch Mikrostruktureinheiten (6) in zwei oder mehr Teilkanäle (7) aufgespalten wird, wobei die Breiten der Teilkanäle im Millimeter- bis Submillimeterbereich liegen und kleiner sind als die Breite der Mischzone (5).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikromischer ein Gehäuse (11) mit mindestens 2 Fluid-zuführungen (12a) und mindestens einer Fluidabführung (16) aufweist und das Gehäuse (11) mindestens eine oder

mehrere, zu einem Stapel angeordnete plattenförmige Bauteile (1) enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Platten (1) eingesetzt werden, welche so übereinanderliegen, dass die Eintrittsöffnungen (2) Nebenkanäle zum Zuführen der jeweiligen zu vermischenden flüssigen Phase und die Mischzonen (5) zusammen einen Hauptkanal zum Abführen der vermischten Phase bilden und sich die Haupt- und Nebenkanäle durch den Stapel erstrecken.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Extraktionsmittel durch den Hauptkanal und die den zu extrahierenden Stoff enthaltende Phase durch mindestens einen Nebenkanal des Mikromischers geleitet werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Breiten der Teilkäne (7) der Platten (1) an der Mündung in die Mischzone (5) 1 µm bis 2 mm betragen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der größten Breite des Verbindungskanals (3) und/oder der Breite der Eintrittsöffnung (2) zur Breite der Teilkäne (7) der Platten (1) größer 2 ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Länge zur Breite der Teilkäne (7) der Platten (1) von 1:1 bis 20:1 beträgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Breite der Mischzone (5) zur Breite der Teilkanäle (7) der Platten  
5 (1) größer 2 ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (1) zusätzlich mindestens eine Durchtrittsöffnung (9) aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Eintritts- (2) oder Durchtrittsöffnungen (9) oder die Mischzone (5) der Platte (1) von der Plattenebene  
15 umschlossen vorliegt und der Verbindungskanal (3) durch eine Vertiefung ausgebildet ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Eintritts- (2) oder Durchtrittsöffnungen (9) oder die Mischzone (5) der Platte (1) am Plattenrand oder durch Ausparungen am Plattenrand angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (1) mindestens zwei Eintrittsöffnungen (2) für mindestens zwei verschiedene Fluidströme aufweist, wobei jede Eintrittsöffnung (2) durch je einen Verbindungskanal (3) mit der Mischzone (5) verbunden ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (1) zwei  
Eintrittsöffnungen (2) für zwei verschiedene Fluid-  
ströme aufweist, wobei jede Eintrittsöffnung (2) durch  
5 je einen Verbindungskanal (3) mit der Mischzone (5)  
verbunden ist und die Austrittsöffnungen (4) der beiden  
Verbindungskanäle (3) einander gegenüberliegen.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsöffnungen (4)  
der Platte (1) auf einer kreisförmigen Linie angeordnet  
sind.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (1) zusätzliche  
Durchbrüche (12) und in die Mikrostruktureinheiten (6)  
integrierte, von den Teilkanälen (7) getrennte, zusätz-  
liche Teilkanäle (13) aufweist.
- 20 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungskanäle (3)  
der Platten (1) durch Vertiefungen ausgebildet sind und  
die Verbindungskanäle (3) vor der Mündung in die Misch-  
zone (5) durch auf den Platten (1) angebrachten Mikro-  
25 struktureinheiten (6) in Teilkanäle (7) aufgespalten  
werden.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungskanäle (3)  
30 der Platten (1) durch Ausnehmungen in den Platten (1)  
gebildet sind, wobei die Platten als Zwischenplatten

zwischen je einer Deck- und einer Bodenplatte angeordnet sind und die Verbindungskanäle (3) vor der Mündung in die Mischzone (5) durch an den Deck- und/oder Bodenplatten angebrachten Mikrostruktureinheiten (6) in Teikanäle (7) aufgespalten werden.

5

10

15

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einströmungsgeschwindigkeit des Fluidstroms in die Mischzone (5) größer ist als die Strömungsgeschwindigkeit der Fluidmischung innerhalb der Mischzone.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Mischzone Mischung zumindest teilweise durch Turbulenz erfolgt.

**Zusammenfassung**

Es wird ein Verfahren beschrieben zur Extraktion einer oder mehrerer Substanzen aus einem fluiden Ausgangsmaterial mit einem geeigneten Extraktionsmittel unter Verwendung eines statischen Mikromischers zur Vermischung des Ausgangsmaterials mit dem Extraktionsmittel. Der statische Mikromischer weist plattenförmige Bauteile auf, wobei die Platte (1) mindestens eine Eintrittsöffnung (2) für den Eintritt 5 mindestens eines Fluidstroms in einen in der Plattenebene liegenden Verbindungskanal (3) und mindestens eine Austrittsöffnung (4) für den Austritt des Fluidstroms in eine in der Plattenebene liegende Mischzone (5) aufweist, wobei die Eintrittsöffnung (2) mit den Austrittsöffnungen (4) 10 durch den in der Plattenebene liegenden Verbindungskanal (3) kommunizierend verbunden ist und wobei der Verbindungskanal (3) vor der Mündung in die Mischzone (5) durch Mikrostruktureinheiten (6) in zwei oder mehr Teilkanäle (7) aufgespalten wird, wobei die Breiten der Teilkanäle im Millimeter- 15 bis Submillimeterbereich liegen und kleiner sind als die Breite der Mischzone (5). 20

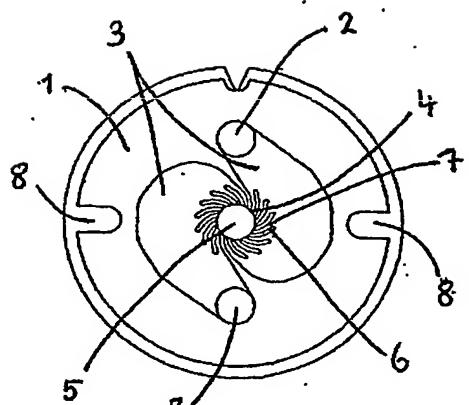


Fig. 1a

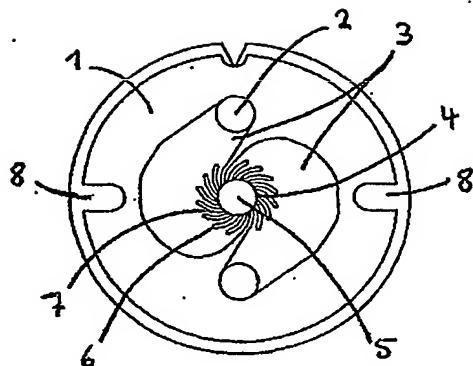


Fig. 1b

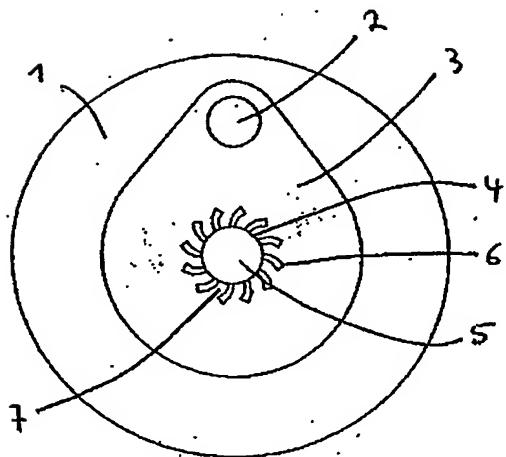


Fig. 1c

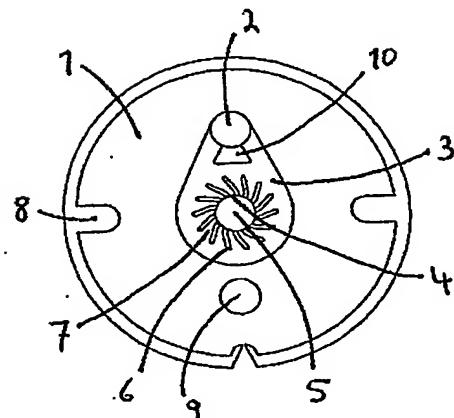


Fig. 1d

Fig. 2 a

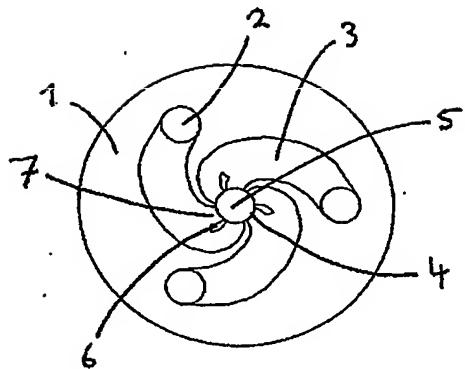


Fig. 2 b

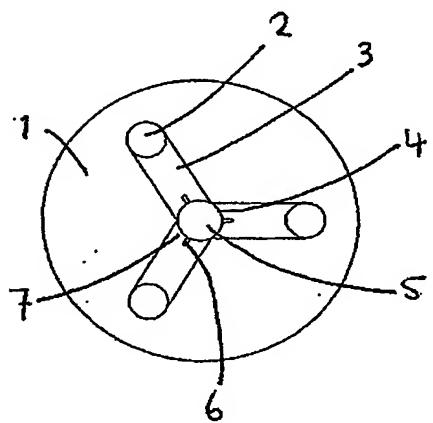
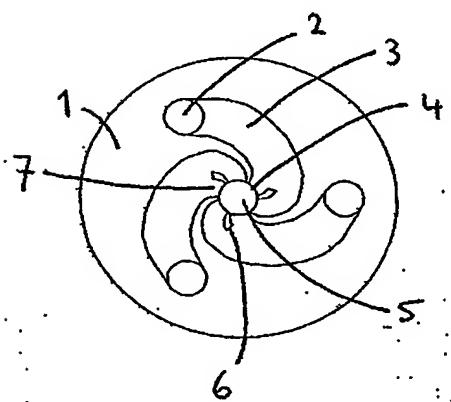


Fig. 2 c



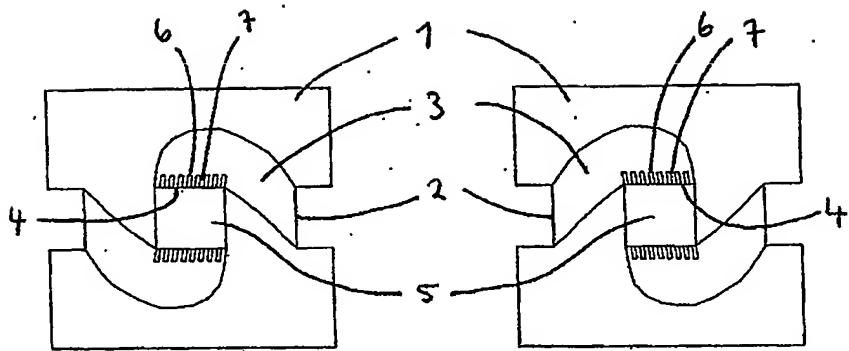


Fig. 3a

Fig. 3b

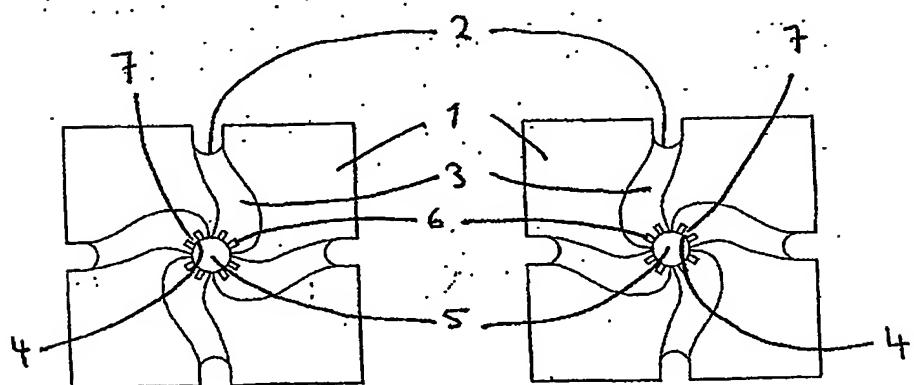


Fig. 3c

Fig. 3d

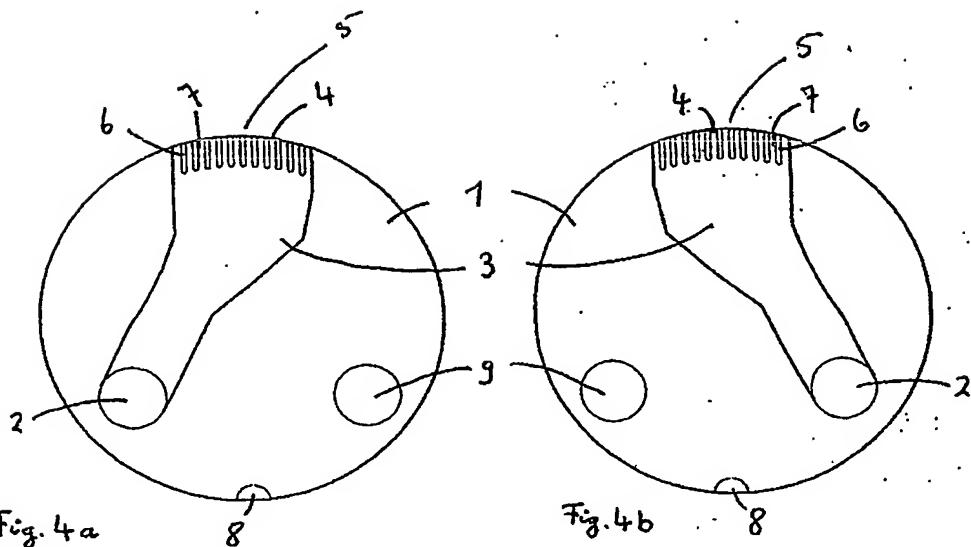


Fig. 4a

Fig. 4b

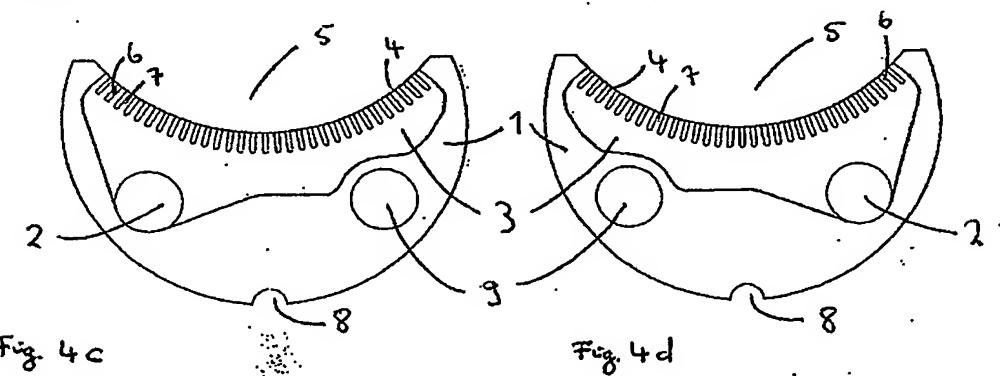


Fig. 4c

Fig. 4d

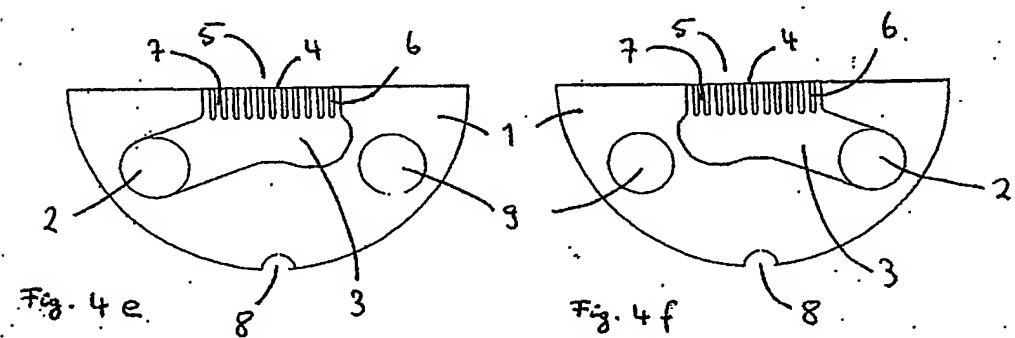


Fig. 4e

Fig. 4f

5/9

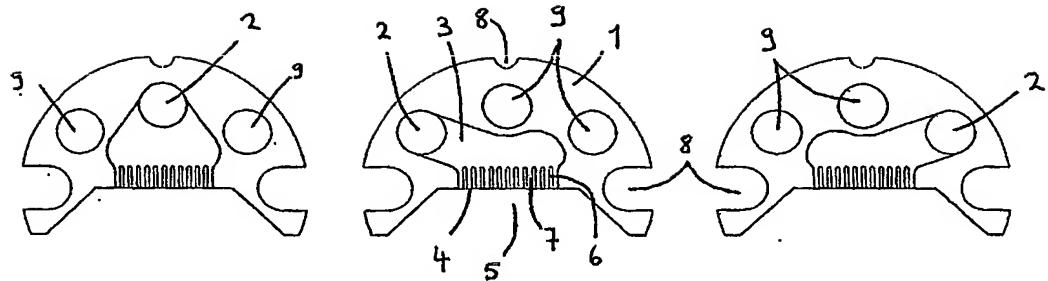


Fig. 5a

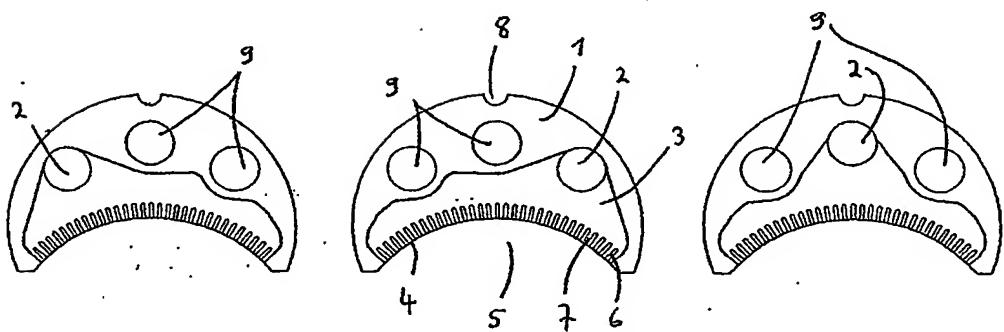


Fig. 5b

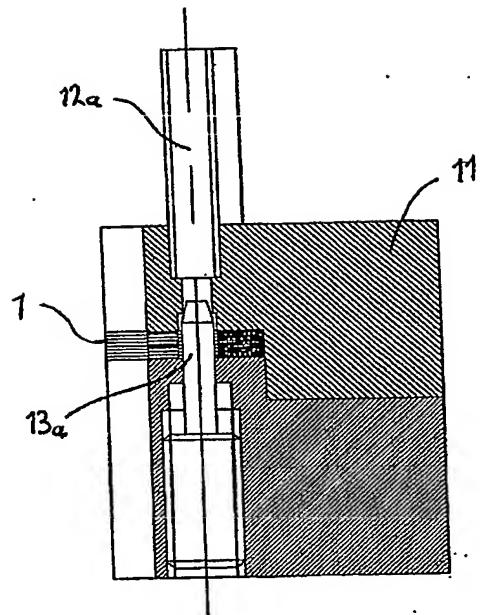


Fig. 6a

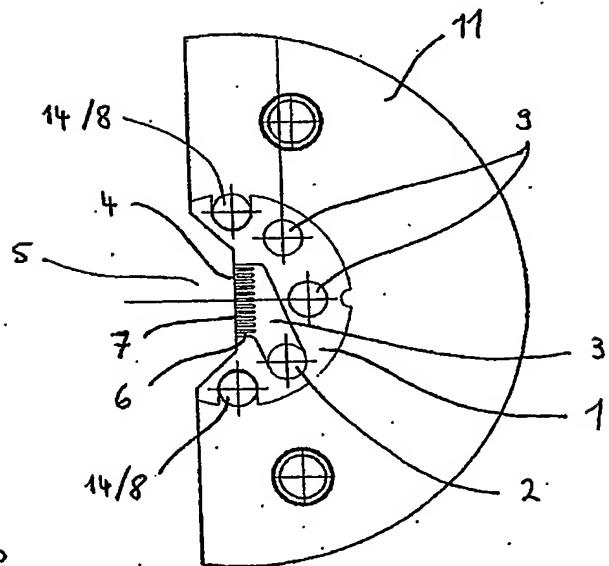


Fig. 6b

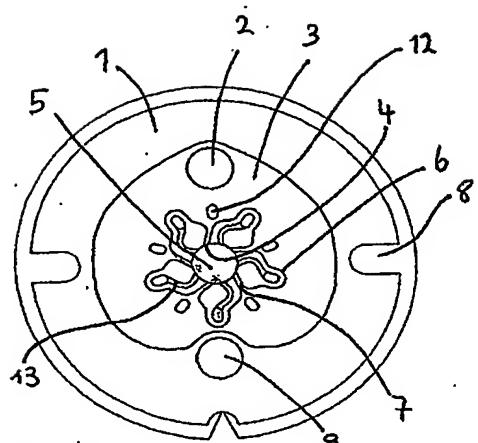


Fig. 7a

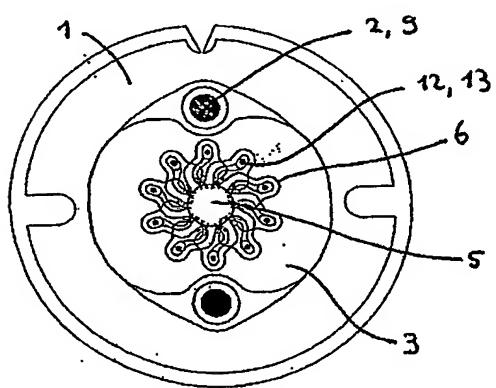
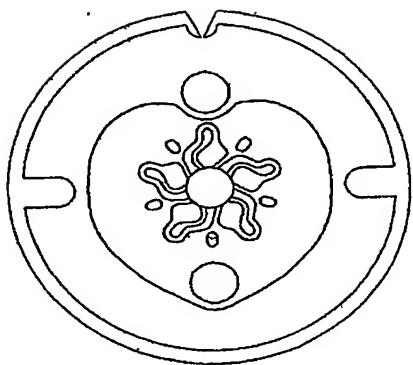
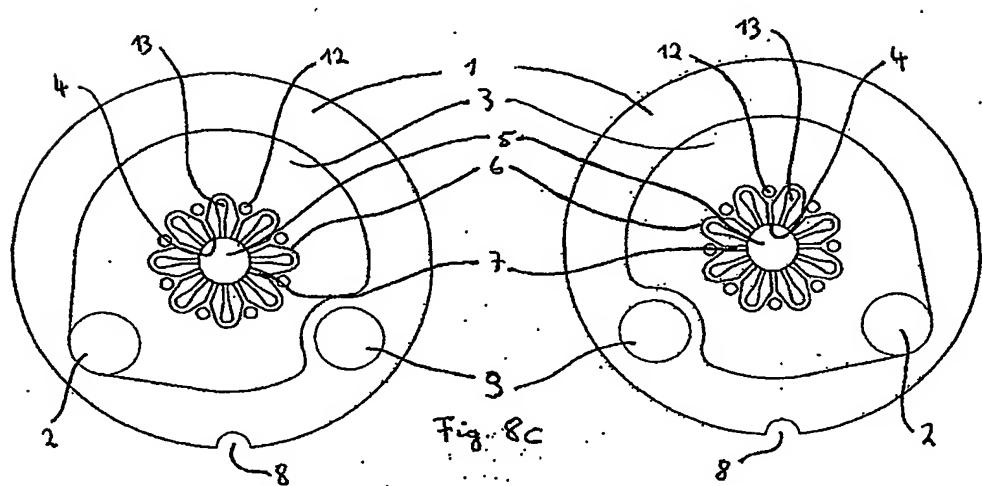
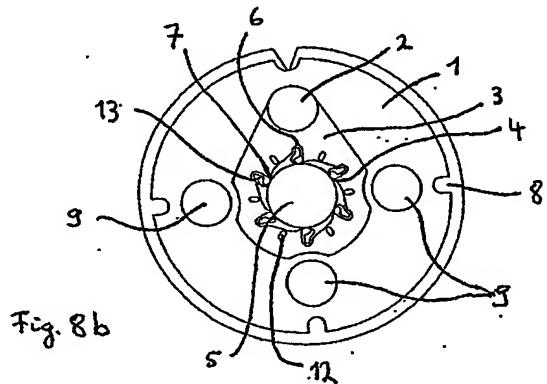
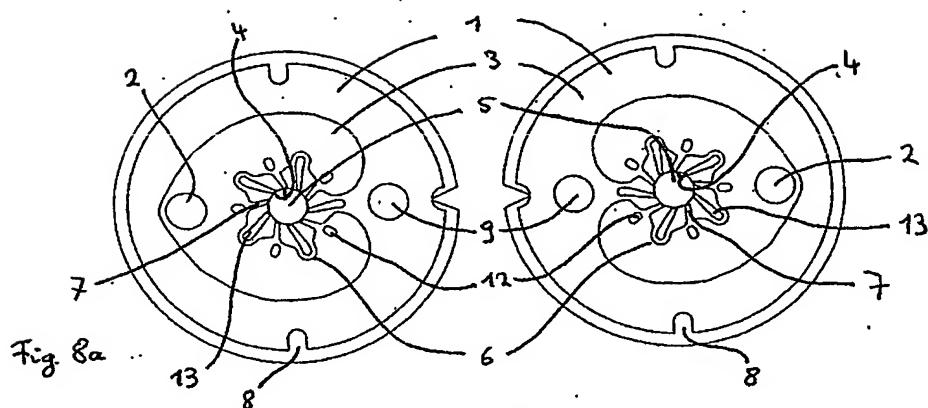


Fig. 7b

8/9



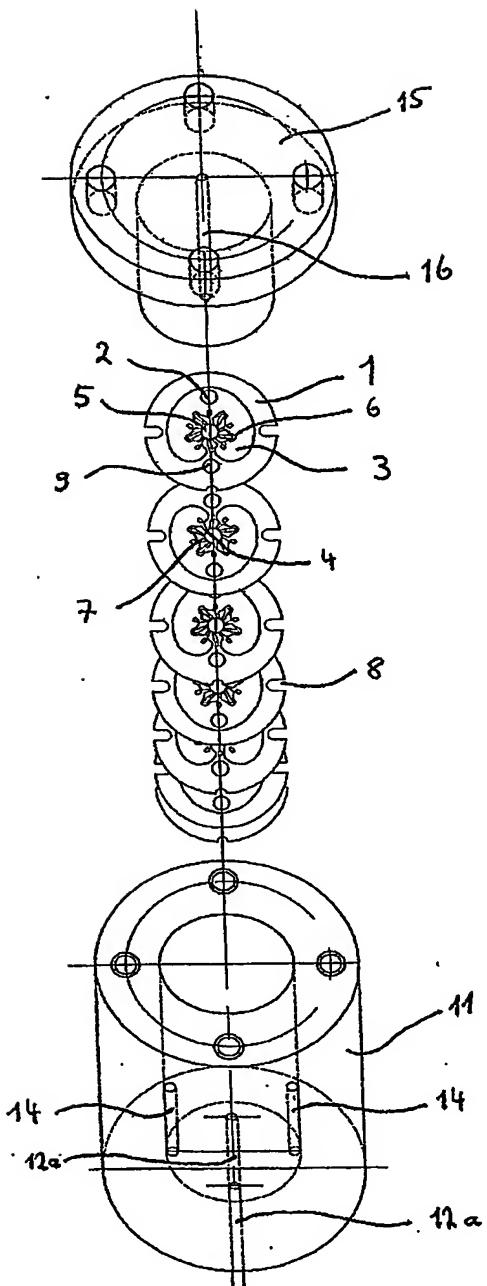


Fig. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**